

ANALYSE DES DEFAUTS POUR L'AMELIORATION DE LA QUALITE (ADAQ)

BERNARD Frédéric*, PILLET Maurice**

*LLP/CESALP - Ecole Supérieure d'Ingénieurs d'Annecy (ESIA)
41, avenue de la Plaine - B.P. 806
74016 Annecy CEDEX - FRANCE
Frederic.bernard@esia.univ-savoie.fr

**LLP/CESALP - Université de Savoie
IUT, 9 rue de l'arc en ciel - BP240
74942 Annecy le Vieux CEDEX – France
Maurice.pillet@univ-savoie.fr

Résumé : Toutes les entreprises industrielles sont régulièrement confrontées à des problèmes qualité produits. Afin de les résoudre, les techniciens mettent en œuvre une démarche de résolution de problèmes souvent fondée sur une approche expérimentale. Malheureusement cette approche est souvent très empirique et manque généralement de formalisme. L'objectif principal du travail que nous proposons de réaliser est de rationaliser et de formaliser une démarche dans la résolution de problèmes qualité en atelier appelée ADAQ (Analyse des Défauts pour l'Amélioration de la Qualité). Cette méthode devra permettre de converger plus rapidement vers la source du problème et fournira un guide d'utilisation des différentes méthodes d'analyse de données ou d'expérimentation (régression multiple, plans d'expériences, analyse de la variance,...). L'idée est de faire en quelque sorte une AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) mais qui serait déclenchée chaque fois qu'un défaut apparaît en production.

Abstract: Every factories are frequently confronted with quality product problem. To resolve them, technicians implement quality problem solving often based on an experimental approach. Unfortunately, this approach is usually empirical and is not very well formalised.

The aim of our work is to provide a new quality problem method called QIFA (Quality Improvement by Failure Analysis).

This approach will rapidly allow to localize the origin of the problem and will provide a quality tool's guide (regression analysis, design of experiments, ANOVA, ...).

The idea is to propose a method like FMEA (Failure, Mode, Effect and Analysis) but which will be set every time a failure is detected in production.

Mots clefs: Technique de résolution de problèmes, méthodes d'analyse de données et d'expérimentation, analyse causale, démarche d'amélioration.

1. INTRODUCTION

Dans le contexte industriel actuel, la démarche de résolution de problèmes constitue un enjeu financier majeur pour les entreprises. En effet, l'apparition de problèmes qualité engendre des pertes de productivité, de temps voire d'insatisfactions clients non négligeables. Il est donc important pour les entreprises d'être très réactives face à ces problèmes et de pouvoir les résoudre rapidement et de manière efficace.

A l'origine des problèmes, se cachent généralement des causes diverses et variées qu'il est difficile d'identifier rapidement sans méthode rigoureuse à disposition. Plusieurs contributions ont déjà largement débattues de ce sujet, et de nombreuses méthodes de résolution de problèmes ont été proposées.

L'objectif de cet article est de présenter succinctement les principales méthodes utilisées actuellement et de définir les pistes d'une nouvelle méthode de résolution de problèmes particulièrement adaptée au processus de production : l'ADAQ (Analyse des Défauts pour l'Amélioration de la Qualité).

2. LES METHODES DE RESOLUTION DE PROBLEMES EN GENERAL

D'une manière générale, les méthodes de résolution de problèmes sont connues au travers d'un enchaînement d'étapes successives qui le plus souvent sont fondées sur l'approche PDCA (Plan, Do, Check, Action) de DEMING [DEMING 82]. Elles servent de guide et permettent de structurer la démarche.

Quelle que soit la méthode choisie, il existe une constante dans les étapes à respecter. On y retrouve toujours plus ou moins les 7 étapes de la figure 1.

A chaque étape de la méthode est associée une panoplie d'outils. Il en existe une

grande quantité et une grande diversité [JAYARAM et al 97] que l'on classe en trois catégories :

- La première regroupe les outils qui se basent sur l'exploitation de données (les outils statistiques type tests de comparaison) ;
- La seconde regroupe ceux qui font intervenir le jugement des personnes (les outils intuitifs type déballage d'idées) ;
- Enfin la troisième utilise les outils graphiques à base de diagrammes (diagramme de concentration).

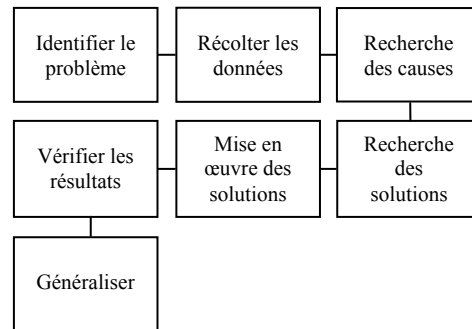


Figure 1 : Les étapes classiques des méthodes de résolution de problèmes.

Toute l'ambiguïté des méthodes de résolution de problèmes tourne autour de l'efficacité. Une méthode doit être à la fois précise pour être efficace mais aussi répondre au plus grand nombre de problèmes afin de revendiquer son caractère universel. Malheureusement, aucune méthode ne semble répondre à ce critère. Selon NEWELL [NEWELL 69], une méthode puissante a un champ d'action limité alors qu'une méthode générale manque d'efficacité. En fait, la différence ne se fait pas vraiment au niveau de la méthode elle-même mais plutôt au niveau de la conceptualisation que l'on se fait du problème [NICKOLS 96] [SMITH 94]. Derrière chaque méthode proposée, on retrouve un certain nombre de principes de base sur lesquels

se sont appuyés les concepteurs de la méthode.

A chaque type de problème correspond une panoplie d'outils propre. Il apparaît donc clairement que si l'on veut résoudre efficacement un problème, il faut en premier lieu bien caractériser la nature du problème et valider son adéquation avec les principes fondateurs de la méthode que l'on veut employer.

pourcentage de défauts diminue [BECK & al 94].

2.2 Les principes fondateurs des problèmes Qualité Produits

L'analyse des méthodes de résolution de problèmes adaptées à la qualité des produits industriels nous a conduit à

		Méthodes		
		6 Sigma	Shainin	ADAQ
P ₁	Un problème qualité est lié à une non satisfaction ressentie par le client	XXX	XXX	XXX
P ₂	La non qualité a pour origine la variabilité	XX	XX	XXX
P ₃	La maîtrise de la mesure est un préalable	XXX	XXX	XXX
P ₄	Problème de conformité par rapport à une tolérance	XXX	XX	
P ₅	Prise en compte de l'aspect combinatoire de la Qualité		X	XXX
P ₆	Le centrage sur la cible prédomine sur la maîtrise de la variabilité – Notion d'inertie autour de la cible.	X	X	XXX
P ₇	Seules quelques variables sont à l'origine du problème (X rouge)	X	XXX	XXX
P ₈	La typologie de manifestation est source d'informations		XXX	XXX

Figure 2 : Les principes fondateurs des méthodes de résolution de problèmes

2.1 La nature des problèmes

Concernant la nature des problèmes, nous ne considérerons que les problèmes qualité produits. Ce sont tous les problèmes liés au bon fonctionnement d'un produit. Nous pouvons considérer qu'il y a apparition d'un problème dès qu'une spécification sur le "**produit fini**" n'est pas respectée.

Lorsque la spécification n'est pas mesurable, il est important de pouvoir transformer cette réponse en réponse mesurable. On pourra chercher par exemple, un paramètre mesurable corrélé à cette spécification. Cette transformation est d'autant plus nécessaire que le

identifier un certain nombre de principes fondateurs sur lesquels chacune des méthodes s'appuie plus ou moins. Retenons dans notre étude l'approche Six Sigma et Shainin. De nombreuses autres méthodes existent (4x4,...) mais ont généralement une approche plus universelle et sont donc moins adaptées à la résolution de problèmes techniques.

Un principe représente la modélisation conceptuelle que l'on se fait de la nature du problème. Il représente une affirmation forte de la part des créateurs de la méthode et de ce fait oriente fortement la démarche de résolution. La figure 2 donne le tableau des grands principes que nous avons identifiés. Avec l'ADAQ, nous recherchons une approche capable de fédérer tous les principes essentiels afin

de trouver le meilleur compromis entre efficacité et universalité. Détaillons les grands principes fondateurs.

2.2.1 Principe 1 : Un problème qualité est lié à une non satisfaction ressentie par le client

Le point de départ d'une démarche doit être l'identification d'un problème qualité. Il ne faut pas se tromper sur l'objectif. Les problèmes qui méritent intérêt sont ceux qui ont une implication sur les clients de l'entreprise.

2.2.2 Principe 2 : la non qualité a pour origine la variabilité

Quel que soit le processus de fabrication, le produit ou encore l'entreprise concernée, la variabilité existe naturellement et constitue un obstacle incontournable. L'origine de la dispersion provient des 5 M (Machine, Méthode, Milieu, Main d'œuvre, Matière). Il existe bien une autre source de variabilité qui est la Mesure. Cependant, ce « sixième M » n'intervient que comme un filtre dans la vision que l'on a de cette variabilité. Il ne constitue donc pas une vraie source de variabilité à proprement dit. La maîtrise de la variabilité sur l'ensemble des 5 M + la Mesure est une des clefs de réussite de la résolution de problèmes. Le principe de base repose sur le postulat qu'un problème qualité provient de la non-maîtrise d'un ou plusieurs M.

2.2.3 Principe 3 : la maîtrise de la mesure est un préalable

Ce principe est très puissant dans les deux approches Shainin et Six Sigma. On ne peut progresser que si on sait mesurer. Le préalable à toute démarche de résolution de problème passe donc par la recherche d'un critère – si possible continu – et d'un processus de mesure adapté capable de dissocier de façon claire un produit bon d'un produit mauvais. On ne commence

pas une démarche de résolution tant que l'on n'a pas trouvé un processus de mesure adapté !

2.2.4 Principe 4 : principe de conformité par rapport à une tolérance

Ce principe postule que si toutes les caractéristiques élémentaires sont dans les tolérances, alors le produit fini sera conforme. Pour cela on donne comme objectif la recherche du zéro caractéristique hors tolérance. C'est un peu sur ce principe que repose l'approche Six Sigma dont l'objectif est d'atteindre 3.4 ppm [Harry 98].

2.2.5 Principe 5 : prise en compte de l'aspect combinatoire de la Qualité

Ce principe est intimement lié au principe 6, et il est de plus en opposition partielle avec le principe 4. Avec ce principe on considère que la qualité d'un produit résulte de la combinatoire d'un grand nombre de caractéristiques. On ne vend pas des caractéristiques élémentaires mais des fonctions. Certaines caractéristiques élémentaires sont identifiées et font l'objet de tolérances, certaines ne sont pas identifiées ou ne peuvent faire l'objet de tolérances car ce sont les conditions d'utilisation du produit. La maîtrise de la qualité passe par la maîtrise de cet aspect combinatoire. Le but n'est pas pour les caractéristiques tolérancées de respecter les tolérances, mais de rendre le produit fini robuste par rapport à ses conditions de montage et d'utilisation.

2.2.6 Principe 6 : le centrage sur la cible prédomine sur la maîtrise de la variabilité

Le principe 6 est le résultat du principe 5. On considère que pour assurer la qualité et la robustesse du produit par rapport à ses conditions d'utilisation, il est plus important de centrer les produits par rapport à la cible que de simplement

respecter les tolérances. Le pourcentage hors tolérance ne devient plus le critère objectif, le critère objectif est une inertie autour de la cible.

2.2.7 Principe 7 : seules quelques variables sont à l'origine du problème

Quel que soit le type de problème (simple ou complexe), il existe toujours un certain nombre de variables identifiables à l'origine du problème. Or toutes ces variables n'ont pas la même importance sur la réponse. Selon Shainin [SHAININ 93], il existe 3 types de variables :

- X rouges : ce sont les variables les plus importantes c'est à dire celles qui expliquent en majeure partie la réponse. On y trouve généralement 1 à 2 variables.
 - X roses : ce sont les variables « secondaires » moins influentes mais qui restent tout de même importantes à maîtriser.
 - X roses pâles : ce sont les variables qu'il est intéressant d'identifier mais dont l'importance est moindre par rapport aux deux autres catégories.
- Les X sont souvent des variables indépendantes mais il arrive que ce soit tout simplement une interaction entre deux voir plusieurs variables indépendantes.

2.2.8 Principe 8 : la typologie est source d'informations

Nous avons vu plus haut le principe 2 posait la qualité des produits comme un problème de variabilité. Cette notion peut être complétée par la typologie de manifestation dans le temps. On distingue 4 typologies de manifestations (Figure 3). Cette distinction est fondamentale car elle va orienter la recherche des suspects ainsi que les actions à mettre en place.

Sporadique	
Dérive	
Seuil	
Cyclique	

Figure 3 : Les typologies de manifestation.

- **Sporadique** : typique des phénomènes aléatoires.
- **Dérive** : typique des phénomènes d'usure.
- **Seuil** : typique des phénomènes de rupture.
- **Cyclique** : typique des phénomènes de stabilité dans le temps (température, pression,...).

3. LES CONCEPTS DE BASE DE L'ADAQ

Le but de l'ADAQ est d'apporter une méthode fédératrice permettant de mettre en pratique les principes qui nous semblent les plus importants, c'est à dire tous les principes énoncés ci dessus à l'exception du principe 4 qui nous semble être un principe non vérifié par l'expérience bien que celui ci face l'objet d'un véritable culte dans nos entreprises. Notre approche est volontairement séquentielle car l'aspect séquentiel est rassurant pour l'utilisateur. Il apporte un guide dans la démarche et permet de savoir si on avance.

L'originalité de l'approche que nous proposons est fondée sur trois points :

- La formalisation de la recherche d'une arborescence et d'une approche visant à valider rapidement l'ensemble d'une branche de l'arborescence ;

	Etapes de l'ADAQ	Outils	Données de sortie de l'étape permettant la validation de l'étape
1	Identification du problème	Pareto Diagramme en arrête de poisson	
2	Trouver une mesure corrélée au défaut	Corrélation Tests de comparaisons	Disposer d'une mesure avec une bonne capabilité, corrélé au problème à résoudre
3	Créer une arborescence Produit/Process	Diagramme matriciel Diagramme de flux Diagramme produit ...	Modélisation de l'arborescence des sources potentielles du problème
4	Couper les branches	Analyse causale Tests de comparaisons Test de corrélation Inversion ...	Identifier la branche coupable Identifier les caractéristiques suspectes
5	Rechercher les solutions	Plans d'expériences	Trouver une configuration des X qui donne satisfaction sur le Y
6	Valider la solution et sa robustesse	Plan d'expériences produits	Validation que la solution trouvée ne détériore pas une autre caractéristique, et que la solution est robuste aux paramètres d'environnement et d'utilisation
7	Mise sous contrôle	SPC	Processus en état de stabilité statistique et capable
8	Standardiser		Solution pérenne

Figure 4 : Les concepts de base de l'ADAO

- L'analyse causale qui nous permet d'analyser de façon rapide et optimale l'ensemble des caractéristiques candidates.

- L'adéquation avec les principes de bases retenus.

Les étapes 3 et 4 sont des méthodes itératives. On cherche d'abord une macro arborescence puis nous descendrons à des niveaux de détail. Par exemple pour un problème de bruit dans un compresseur de réfrigérateur, l'arborescence comprend dans un premier temps les macro-éléments suivants : moteur / compresseur / bati / connectique.

Dans un second temps si on a montré que le macro élément responsable de la non qualité est le compresseur on intègre le niveau des pièces constitutives du

compresseur, puis le niveau des caractéristique de la pièce puis enfin le niveau du processus de fabrication de cette caractéristique. On note au passage que l'arborescence peut être une arborescence de composants, une arborescence processus, organisationnelle ou encore un mixte de ces différents éléments.

La phase "couper les branches" est très importante. On cherche pour le sommet de chaque branche identifiée une caractéristique capable de caractériser la branche. Pour conserver ou lever la suspicion sur la branche, on cherche à identifier des corrélations entre le problème qualité et la caractéristique test de la branche.

Défaut observé : Déchassage de goupille en clientèle						
Diagramme d'arborescence	Elément impliqué	Etat Observable	Relation a priori avec le défaut	Niveau de maîtrise atteint sur cet état	Adéquation avec la typologie de la manifestation	Indice de suspicion
	Processus d'assemblage	Force de déchassage	9	2	3	54
	Usinage du maillon	Diamètre extérieur	9	5	6	270
		Géométrie	5	1	4	20
Goupilles	Alésage	Diamètre intérieur	5	6	3	90

Figure 5 : L'analyse causale

Dans cette démarche, on note toute l'importance du choix des « caractéristiques tests » ; ce sont ces caractéristiques qui vont permettre de valider ou d'invalidé toute la branche. Pour identifier le plus rapidement ces caractéristiques, nous avons développé un nouvel outil : l'analyse causale.

4. L'ANALYSE CAUSALE

L'analyse causale permet de formaliser le travail naturel de choix des caractéristiques suspectes. L'objectif de l'analyse causale est de faire une sorte d'AMDEC rétrospective compte tenu du problème qualité qui est posé. Pour réaliser une analyse causale, nous utilisons un support qui ressemble au support de l'AMDEC. Le but de l'analyse causale est donc de guider le technicien dans sa réflexion des X susceptibles d'être recherchés et ainsi de limiter de façon considérable le nombre d'essais. Dans l'exemple simplifié de la figure 5, de

toute évidence le maillon est le plus suspect pour expliquer l'origine du problème.

Pour être susceptible d'être retenue, un X doit satisfaire à 3 critères, chaque critère est noté de 1 à 10 selon une grille que nous avons établi.

Relation a priori avec le défaut : on répond à la question suivante "est-ce que cette caractéristique, si elle s'écarte de la valeur cible, peut créer un défaut ?"

Niveau de maîtrise atteint sur cet état : le processus qui conduit à l'obtention de cette caractéristique est-il maîtrisé ? Nous utilisons pour répondre à cette question le diagramme de Pylipow [PYLIPOW 00] qui permet de quantifier l'état de maîtrise d'un processus.

Adéquation avec la typologie de la manifestation : on juge si la façon dont se manifeste le défaut est compatible avec la susception de cette caractéristique.

Le produit des trois notes donne un **indice de suspicion**. Plus cet indice est élevé,

plus la branche mise en cause doit être retenue.

On recherchera donc à valider rapidement la relation qui pourrait relier les états observables du maillon avec le problème qualité. Par exemple, on dissocie par tri deux configurations extrêmes du diamètre des maillons, et on vérifie après montage et vieillissement artificiel, l'incidence de ce paramètre sur le défaut.

Dans ce cas un seul élément sort de manière très forte de l'analyse causale. Un simple test de comparaison suffit. Dans le cas où plusieurs éléments sortent de cette analyse, on réalise un plan d'expériences ou une analyse statistique pour valider les suspects.

CONCLUSION

La recherche de méthodes efficaces de résolution de problèmes est un élément déterminant de la compétitivité des entreprises. Les éléments essentiels de cette efficacité sont la pertinence des principes fondateurs et la façon dont le technicien est guidé dans sa démarche. Nous proposons de revoir en détail les principes fondateurs des démarches de résolutions de problèmes afin de ne retenir que les principes qui ont démontré leur pertinence et leur universalité. Nous avons également proposé une nouvelle approche (ADAQ) formalisant les principes retenus et permettant de converger rapidement vers la source du problème en limitant le nombre d'essais à réaliser. Pour cela on s'appuie sur le savoir à priori des experts en guidant leur réflexion par un nouvel outil : l'analyse causale.

REFERENCES

- [BECK & al 94] BECK S. T., GUO Y., GERSON J. R. . *Applying Variance Decomposition To a Pin Insertion Process*. ASQC 48th Annual Quality Congress Proceedings, p369-378. Las Vegas NV, May 1994.
- [BRITZ & al 00] BRITZ G. C., EMERLING D. W., HARE L. HOERL B., JANIS S. J., SHADE J. E.. *Improving Performance Through Statistical Thinking*. ASQ Quality Press. Milwaukee, Wisconsin, 2000.
- [DEMING 82] DEMING W.E.. *Out Of The Crisis*. Cambridge, 1982.
- [JAYARAM & al 97] JAYARAM J., HANDFIELD R., GHOSH S.. *The Application Of Quality Tools In Achieving Quality Attributes And Strategies*. Quality Management Journal, N°1, p75-100. 1997.
- [HARRY 98] HARRY M.-J.. *Six Sigma : A Breakthrough Strategy for Profitability*. Quality Progress, p60-64. May 1998.
- [NEWELL 69] NEWELL A.. *Progress In Operations Research*. J. Aronofsky, p361-414. New York, 1969.
- [PYLIPOW00] PYLIPOW Peter E.. *Understanding The Hierarchy Of Process Control*. Quality Progress, p63-66. Octobre 2000.
- [PILLET 99] PILLET M.. *Qualité Des Produits Et Qualité Des Caractéristiques Élémentaires, L'objectif Cible De La Conception A La Fabrication*. 3^{ème} congrès Qualita " Qualité et sûreté de fonctionnement". Paris, Mars 1999.
- [PYZDEK 90] PYZDEK T.. *There's No Such Thing As A Common Cause*. ASQC Quality Congress Transactions, p102-108. San Francisco, 1990.
- [SHAININ 93] SHAININ R. D.. *Strategies For Technical Problem Solving*. Quality Engineering, 5(3), p433-448. 1993.
- [SMITH 94] SMITH G. F.. *Quality Problem Solving : Scope And Prospects*. QMJ 94 Fall, p25-40. 1994.

Qualita 2001 – 4^{ème} congrès Pluridisciplinaire Qualité et sûreté de fonctionnement